

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-203385

(43)Date of publication of application : 27.07.2001

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

(21)Application number : 2000-010346

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 17.01.2000

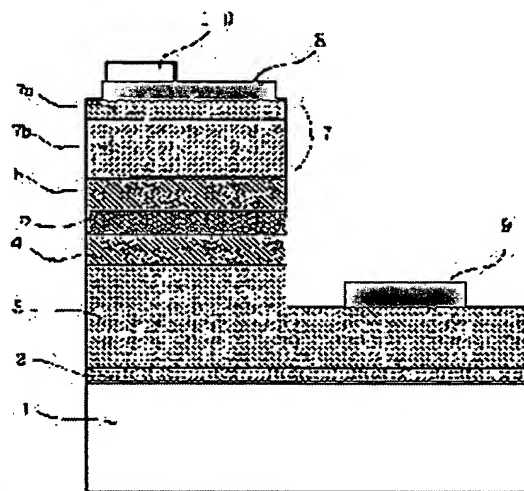
(72)Inventor : MORITA DAISUKE

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DIODE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a nitride semiconductor light emitting diode having an emission peak wavelength of 370 nm or below in which a good ohmic contact can be obtained and emission output can be enhanced by suppressing self absorption.

SOLUTION: An active layer comprises a nitride semiconductor layer having an emission peak wavelength of 370 nm or below. A p-type contact layer comprises a first p-type contact layer containing $\text{Al}_{1-a}\text{Ga}_a\text{N}$ ($0 \leq a < 0.05$) heavily doped with a p-type impurity on the side touching the p electrode, and a second p-type contact layer touching the first p-type contact layer on the active layer side thereof and containing $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 0.1$) having Al compositional ratio higher than in the first p-type contact layer and doped with a p-type impurity at a lower concentration than in the first p-type contact layer. Further, an n-type contact layer touching an n electrode contains $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d < 0.1$).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.04.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-203385

(P 2 0 0 1 - 2 0 3 3 8 5 A)

(43) 公開日 平成13年7月27日(2001.7.27)

(51) Int. Cl. ⁷

H01L 33/00

識別記号

F I

H01L 33/00

テ-マコード (参考)

C 5F041

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2000-10346(P 2000-10346)

(22) 出願日 平成12年1月17日(2000.1.17)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 森田 大介

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

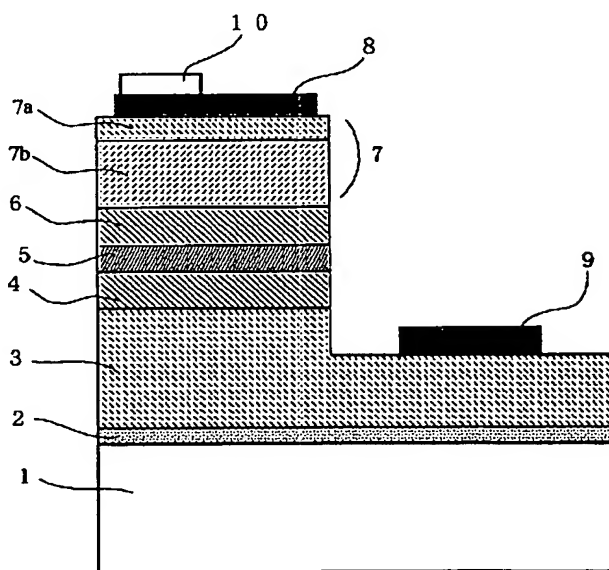
Fターム(参考) 5F041 AA04 AA11 AA31 CA04 CA05
CA34 CA40 CA65 CA85 CA87

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光ダイオード

(57) 【要約】

【課題】 良好なオーミック接触が得られると共に、自己吸収を抑制して発光出力の向上が可能な発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体発光ダイオードを提供することである。

【解決手段】 活性層が発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体層からなり、p型コンタクト層が、p電極と接する側にp型不純物を高濃度で含有する $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 0.05$) を含んでなる第1のp型コンタクト層と、第1のp型コンタクト層の活性層側に第1のp型コンタクト層と接してp型不純物を第1のp型コンタクト層より低濃度で含有し Al 組成比が第1のp型コンタクト層より高い $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.1$) を含んでなる第2のp型コンタクト層とから形成されてなり、さらにn電極と接するn型コンタクト層が、 $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 0.1$) を含んでなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、少なくともn型窒化物半導体層、活性層、及びp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、

前記活性層が、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体層からなり、前記p型窒化物半導体層として、p電極と接するp型コンタクト層が、p電極と接する側に、p型不純物を高濃度で含有する $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 \leq x < 0.05$)を含んでなる第1のp型コンタクト層と、前記第1のp型コンタクト層の活性層側に第1のp型コンタクト層と接して、p型不純物を第1のp型コンタクト層より低濃度で含有し、さらにAl組成比が第1のp型コンタクト層より高い $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.1$)を含んでなる第2のp型コンタクト層とから形成されてなり、

さらに、前記n型窒化物半導体層として、n電極と接するn型コンタクト層が、 $Al_dGa_{1-d}N$ ($0 < d < 0.1$)を含んでなることを特徴とする窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項2】 前記p電極と接する第1のp型コンタクト層が、p型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含有してなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項3】 前記第2のp型コンタクト層が、p型不純物を $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下含有してなることを特徴とする請求項1又は2に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項4】 前記p型コンタクト層における第1のp型コンタクト層の膜厚が、100～500オングストロームであり、さらに第2のp型コンタクト層の膜厚が、400～2000オングストロームであることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項5】 前記n型コンタクト層が、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 含有してなることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【請求項6】 前記活性層とn型コンタクト層との間に、 $Al_eGa_{1-e}N$ ($0 < e < 0.3$)を含んでなる第1の窒化物半導体層を有し、更に、前記活性層とp型コンタクト層との間に、 $Al_fGa_{1-f}N$ ($0 < f < 0.4$)を含んでなる第2の窒化物半導体層を有することを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)、太陽電池、光センサーなどの発光素子、受光素子に使用される窒化物半導体素子($In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$, $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$)に関し、特に、発光ピーク波長が370nm

以下の紫外領域に発光する窒化物半導体発光ダイオードに関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、紫外LEDが実用可能となっている。例えば、応用物理、第68巻、第2号(1999)、p152～p155には、サファイア基板上に、GaNバッファ層、n型GaNコンタクト層(膜厚: $4 \mu\text{m}$)、n型AlGaNクラッド層、アンドロップInGaNの活性層(In組成はほとんどゼロ)、p型AlGaNクラッド層、p型GaNコンタクト層(膜厚: $0.12 \mu\text{m}$)が積層されてなる窒化物半導体素子が記載されている。そして、この紫外LEDは、一定条件下で、発光ピークが371nmの場合には発光出力が5mWであるのに対して、発光波長をこれより短波長にしたときにはn型及びp型コンタクト層がGaNであるために自己吸収がおり、発光出力が急激に低くなることが記載されている。更に、この発光出力の低下を防止し、発振波長の短波長化を可能とするためには、n型及びp型コンタクト層を、AlGaNとすることで自己吸収を防止できることが示唆されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、単に、自己吸収を十分に防止できる程度にAl組成比の高いAlGaNでコンタクト層を成長させると、電極との良好なオーミック接触が得られ難くなる。この原因は、恐らく、AlGaNが物性的にドーパントの不活性化を引き起こしたり、フェルミ準位の変動で電極となる金属との仕事関数の差に変動が生じたりするために、電極との良好なオーミック接触が得られ難くなるのではないかと考えられる。このようなオーミック接触の低下は、p型コンタクト層で大きい。また、上記のように、Al組成を含ませることでドーパントの不活性化が生じオーミック接触が得られ難くなる点を改善するために、コンタクト層に不純物を多くドーブすると、不純物の量にほぼ比例して不純物準位が形成されるために、返って自己吸収が大きくなり、結晶性の低下などで発光出力が低下する場合がある。

【0004】 またさらに、コンタクト層をGaNとして膜厚を薄くすることで、相対的に自己吸収を低下させることも考えられるが、例えばp型コンタクト層の膜厚を薄くすると、素子特性が十分でなくなり、さらに、n型コンタクト層の膜厚を薄くすると、n型コンタクト層を露出させる際に操作が煩雑となると共に露出させることが困難となる。

【0005】 このように、従来技術における発光ピーク波長が370nm以下の発光ダイオードでは、コンタクト層で自己吸収が生じて発光出力が低下してしまうが、GaNによる自己吸収を防止するために、単にコンタクト層をAlGaNとして成長させるとオーミック接触の低下が生じ、さらにオーミック接触を得るために不純物

のドーパ量を増加させると不純物準位の形成や結晶欠陥の増加によって自己吸収が生じてしまう。従って、自己吸収の防止と共にオーミック接触を良好にすることが望まれる。

【0006】そこで、本発明の目的は、良好なオーミック接触が得られると共に、自己吸収を抑制して発光出力の向上が可能な発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体発光ダイオードを提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明は、下記

(1)～(6)の構成により本発明の目的を達成することができる。

(1) 基板上に、少なくともn型窒化物半導体層、活性層、及びp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、前記活性層が、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体層からなり、前記p型窒化物半導体層として、p電極と接するp型コンタクト層が、p電極と接する側に、p型不純物を高濃度で含有するAl_{1-x}Ga_xN (0 ≤ x < 0.05)を含んでなる第1のp型コンタクト層と、前記第1のp型コンタクト層の活性層側に第1のp型コンタクト層と接して、p型不純物を第1のp型コンタクト層より低濃度で含有し、さらにAl_{1-x}Ga_xN (0 < x < 0.1)を含んでなる第2のp型コンタクト層とから形成されてなり、さらに、前記n型窒化物半導体層として、n電極と接するn型コンタクト層が、Al_{1-x}Ga_xN (0 < x < 0.1)を含んでなることを特徴とする窒化物半導体発光ダイオード。

(2) 前記p電極と接する第1のp型コンタクト層が、p型不純物を1×10¹⁹～1×10²¹/cm³含有してなることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

(3) 前記第2のp型コンタクト層が、p型不純物を1×10¹⁹/cm³以下含有してなることを特徴とする前記(1)又は(2)に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

(4) 前記p型コンタクト層における第1のp型コンタクト層の膜厚が、100～500オングストロームであり、さらに第2のp型コンタクト層の膜厚が、400～2000オングストロームであることを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

(5) 前記n型コンタクト層が、n型不純物を1×10¹⁷～1×10¹⁹/cm³含有してなることを特徴とする前記(4)に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

(6) 前記活性層とn型コンタクト層との間に、Al_{1-x}Ga_xN (0 < x < 0.3)を含んでなる第1の窒化物半導体層を有し、更に、前記活性層とp型コンタクト層との間に、Al_{1-x}Ga_xN (0 < x < 0.4)を含んでなる第2の窒化物半導体層を有することを特徴とする前記(1)に記載の窒化物半導体発光ダイオード。

【0008】つまり、本発明は、n型コンタクト層を特定のAl組成比からなるAlGa_{1-x}Nとし、さらに、p型コンタクト層を、p型不純物濃度が高くAl組成比の小さい第1のp型コンタクト層と、p型不純物濃度が低くAl組成比の高い第2のp型コンタクト層とから形成し、p型不純物濃度の高い第1のコンタクト層をp電極と接する側に形成してなることにより、良好なオーミック接触が得られると共に自己吸収を抑制でき、発光出力の良好な発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体発光ダイオードを得ることができる。ここで、本発明においては、p型コンタクト層におけるp型不純物濃度の高い又は低い、及びAl組成比の高い又は低いとは、p型コンタクト層を構成する第1のp型コンタクト層と第2のp型コンタクト層での相対的な関係を示す。

【0009】本発明者は、前記したように単に自己吸収の防止のためにAl組成を含ませると、不純物の不活性化等によってオーミック接触の低下を引き起こすと言った点に付いて種々検討した結果、n型コンタクト層を特定のAl組成比のAlGa_{1-x}Nとし、さらにp型コンタクト層をオーミック接触を得るための層と素子特性を維持するため膜厚を確保するための層との2層構造とすることを考えた。そして、本発明者は、上記のようにp型不純物濃度が高くAl組成比の低いp電極と接する第1のp型コンタクト層と、不純物濃度の低いAl組成比の高い第2のp型コンタクト層とでp型コンタクト層を形成し、さらに特定のAl組成比からなるn型コンタクト層と組み合わせることで、オーミック接触が良好で、且つ自己吸収の防止が可能となり、発光出力の良好な窒化物半導体発光ダイオードを得ることを達成した。

【0010】さらに、本発明において、第1のp型コンタクト層が、p型不純物を1×10¹⁹～1×10²¹/cm³、好ましくは5×10¹⁹～5×10²¹/cm³含有してなると、良好なオーミック接触を得る点で好ましい。またさらに、本発明において、第2のp型コンタクト層が、p型不純物を1×10¹⁹/cm³以下、好ましくは5×10¹⁷～5×10¹⁹/cm³含有してなると、素子特性を維持するためにp型コンタクト層の膜厚を厚くしても、自己吸収を防止できる点で好ましい。

【0011】またさらに本発明において、p型コンタクト層における第1のp型コンタクト層の膜厚が、100～500オングストローム、好ましくは150～300オングストロームであると、p型不純物濃度を高くしても膜厚を薄く設定してあると不純物準位による自己吸収が相対的に小さくできると共に、p電極とのオーミック接触を良好とすることができ、さらに第2のp型コンタクト層の膜厚が、400～2000オングストローム、好ましくは800～1200オングストロームであると、自己吸収を防止できると共に、素子特性を維持するのに好ましい。

【0012】更に、本発明は、Alを含んでなるn型コ

ンタクト層が、n型不純物濃度が、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、あると、自己吸収の防止と共に、オーミック接触を維持し、発光出力を向上させる点で好ましい。このように、n型コンタクト層のAl組成比と、n型不純物濃度とを特定して組み合わせると、p型コンタクト層の場合と同様に、オーミック接触及びクラック防止、発光出力の向上の点で好ましい。

【0013】更に、本発明は、前記活性層とn型コンタクト層との間に、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 0.3$) を含んでなる第1の窒化物半導体層を有し、更に、前記活性層とp型コンタクト層との間に、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 < f < 0.4$) を含んでなる第2の窒化物半導体層を有すると、活性層へのキャリアの閉じ込めを良好にでき、発光出力向上の点で好ましい。更に、第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層のそれぞれのAl組成比を上記範囲とし、前記のコンタクト層のAl組成比及び不純物濃度とを組み合わせると、クラック発生の防止、オーミック接触を良好にでき、発光出力の向上の点で好ましい。前記第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層は、クラッド層としての機能を有するので、本発明においては、以下、第1の窒化物半導体層をn型クラッド層、第2の窒化物半導体層をp型クラッド層とする。しかし、これに限定されるものではない。

【0014】

【発明の実施の形態】以下に、図1を用いて本発明を更に詳細に説明する。図1は、本発明の一実施の形態である窒化物半導体素子の模式的断面図である。図1には、基板1上に、バッファ層2、 $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d < 0.1$) を含んでなるn型コンタクト層3、 $\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e}\text{N}$ ($0 < e < 0.3$) を含んでなるn型クラッド層4、 $\text{In}_g\text{Ga}_{1-g}\text{N}$ ($0 \leq g < 0.1$) の活性層5、 $\text{Al}_f\text{Ga}_{1-f}\text{N}$ ($0 < f < 0.4$) を含んでなるp型クラッド層6、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ ($0 < b < 0.1$) を含んでなる第2のp型コンタクト層7bと、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$

($0 \leq a < 0.05$) を含んでなる第1のp型コンタクト層7aとからなるp型コンタクト層7を積層成長させてなり、発光ピーク波長が370nm以下の窒化物半導体素子が記載されている。そして、n型コンタクト層3にはn電極が、p型コンタクト層7の第1のp型コンタクト層7aに接してp電極がそれぞれ形成されている。まず、本発明のn型コンタクト層3及びp型コンタクト層7について記載する。

【0015】[n型コンタクト層3] 本発明において、n型コンタクト層3としては、少なくとも $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ ($0 < d < 0.1$ 、好ましくは $0.01 < d < 0.05$) を含んでなる窒化物半導体層である。Al組成比が上記範囲であると、自己吸収の防止と共に、結晶性とオーミック接触の点で好ましい。更に前記n型コンタクト層3は、n型不純物を $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$

m^3 、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の濃度で含有していると、オーミック接触の維持、クラック発生の防止、結晶性の維持の点で好ましい。このようにn型コンタクト層を構成するAl組成比とn型不純物濃度を組み合わせると、自己吸収を防止できると共に、オーミック接触やクラック防止の点で好ましい。n型不純物としては、特に限定されないが、例えば、Si、Ge等が挙げられ、好ましくはSiである。n型コンタクト層3の膜厚は、特に限定されないが、 $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ が好ましく、より好ましくは $1 \sim 10 \mu\text{m}$ である。膜厚がこの範囲であると、界面付近（例えばn型クラッド層との界面付近）の結晶性（下地として）と抵抗率の低下の点で好ましい。

【0016】[p型コンタクト層7] 本発明において、p型コンタクト層7としては、少なくともp電極と接するp型不純物濃度が高くAl組成比の低い第1のp型コンタクト層7aと、p型不純物濃度が低くAl組成比の高い第2のp型コンタクト層7bとから形成されている。このように、p型不純物濃度とAl組成比が異なる2種類の層でp型コンタクト層7を形成することにより、第1のp型コンタクト層7aで良好なオーミック接触を得ることができ、さらに素子特性を維持できる程度の膜厚にp型コンタクト層を調整する場合、第2のp型コンタクト層7bの膜厚を厚くした場合でも、Al組成比が高いので自己吸収を防止することができる。つまり、p型コンタクト層7では、オーミック接触を得るための第1のp型コンタクト層7aと、自己吸収を防止しながら素子特性の維持できる程度に膜厚を確保するための第2のp型コンタクト層7bとの2層からなる。以下に第1のp型コンタクト層7a及び第2のp型コンタクト層7bについて説明する。第1のp型コンタクト層7aは、第2のp型コンタクト層7bに比べて不純物濃度が高く、Al組成比が低く設定されている。

【0017】このような第1のp型コンタクト層7aとしては、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 0.05$ 、好ましくは $0 < a < 0.01$) を含んでなる窒化物半導体層を挙げることができる。Al組成比が上記範囲であるとp型不純物濃度を高濃度にドーピングしても、不純物の不活性化を防止でき、p電極との良好なオーミック接触を得ることができ好ましい。また、第1のp型コンタクト層7aが上記の範囲内でAl組成比を含んでなると自己吸収の防止の点で好ましく、さらに結晶性の点でも好ましい。また、第1のp型コンタクト層7aのAl組成比は、上記範囲内で、第2のp型コンタクト層7bのAl組成比より低くなるように調整される。

【0018】第1のp型コンタクト層7aのp型不純物濃度としては、特に限定されないが、p電極とのオーミック接触が良好に得られる程度が好ましく、例えば具体的には、 $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。p型不純物濃

度が上記範囲であると、オーミック接触を良好に得ることができ好ましい。第1のp型コンタクト層7aのp型不純物濃度は、上記範囲内で第2のp型コンタクト層7bの不純物濃度より高くなるように調整される。また、第1のp型コンタクト層7aの膜厚としては、特に限定されないが、p電極とのオーミック接触が良好となる程度の膜厚であればよく、例えば具体的には、100~500オングストローム、好ましくは150~300オングストロームである。このような膜厚であると、A1組成比を低くしても膜厚が比較的薄いので自己吸収を防止でき、さらに、p型不純物を高濃度に含有して良好なオーミック接触を得る点で好ましい。

【0019】次に、第2のp型コンタクト層7bとしては、Al, Ga, N ($0 < b < 0.1$ 、好ましくは $0.01 < b < 0.05$) を含んでなる窒化物半導体層である。A1組成比が上記範囲であると、n型コンタクト層の場合と同様に自己吸収の防止の点で好ましく、さらに、結晶性とオーミック接触の点でも好ましい。また、第2のp型コンタクト層7bのA1組成比は、上記範囲内で第1のp型コンタクト層7aより高くなるように調整される。第2のp型コンタクト層7bのp型不純物濃度は、第2のp型コンタクト層7bがp型を示す程度に含有されていることが望ましく、例えば具体的には、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下、好ましくは $5 \times 10^{18} \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ である。p型不純物濃度が上記範囲であると、不純物準位の形成による自己吸収の防止の点で好ましい。第2のp型コンタクト層7bのp型不純物濃度は、上記範囲内で第1のp型コンタクト層7aより低濃度に調整される。

【0020】第2のp型コンタクト層7bの膜厚としては、特に限定されないが、第2のp型コンタクト層7bが400~1200オングストローム、好ましくは800~1200オングストロームである。第2のp型コンタクト層7bの膜厚が上記範囲であると、自己吸収を防止しながら素子特性を維持できる程度の膜厚に調整できる点で好ましい。p型コンタクト層7に含有されるp型不純物としては、特に限定されないが、例えば好ましくはMgが挙げられる。

【0021】また、ここで、p型コンタクト層7を構成する第1のp型コンタクト層7aと第2のp型コンタクト層7bは、上記に示したように、不純物濃度やA1組成比が重複する部分があるが、それぞれ記載された範囲で第1のp型コンタクト層7aが、第2のp型コンタクト層7bに対して、不純物濃度が高くてA1組成比が低くなるように調整されることで良好な効果を得ることができる。仮に、p型コンタクト層7を、A1組成比の低い層のみ、あるいは不純物濃度の高い層のみなどで形成すると、オーミック接触は良好であっても、自己吸収の防止は十分満足できない等、良好なオーミック接触と共に自己吸収の防止の両者を得られ難くなる。また、p型

コンタクト層7は、p型不純物濃度が高くA1組成比の小さい第1のp型コンタクト層7aにより良好なオーミック接触が得られ、p型不純物濃度が低くA1組成比が大きい第2のp型コンタクト層7bにより自己吸収を防止すると共に素子特性の維持ができる、といったようにオーミック接触と自己吸収の防止をそれぞれの層によって得るように構成している。そして第1のp型コンタクト層7aと第2のp型コンタクト層7bとの層が相乗的に作用して、良好なオーミック接触と自己吸収の防止によって、発光出力の良好な素子を得ることができる。また、現状の窒化物半導体では、n型よりもp型形成が困難であり、また素子構造的にp側面発光により特にp側の良好なオーミック接触とp側の自己吸収の防止が大事である。

【0022】またさらに、上記のようにn型コンタクト層3のA1組成比を特定すること、好ましくはA1組成比に加えて不純物濃度を特定すること、加えて、p型コンタクト層7をp型不純物濃度の高いA1組成比の低い第1のp型コンタクト層7aとp型不純物濃度が低くA1組成比の高い第2のp型コンタクト層7bとで形成すること、を組み合わせると、オーミック接触の低下を引き起こすことなく自己吸収をより良好に防止でき、発光出力の向上の点でより好ましい。

【0023】更に、以下に素子を構成するその他の各層について説明する。

【基板1】本発明において、基板1としては、サファイアC面、R面又はA面を主面とするサファイア、その他、スピネル (MgAl_2O_4) のような絶縁性の基板の他、SiC (6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0024】【バッファ層2】本発明において、バッファ層2としては、Ga, Al, N (但しhは $0 < h \leq 1$ の範囲である。) からなる窒化物半導体であり、好ましくはA1の割合が小さい組成ほど結晶性の改善が顕著となり、より好ましくはGaNからなるバッファ層2が挙げられる。バッファ層2の膜厚は、0.002~0.5 μm 、好ましくは0.005~0.2 μm 、更に好ましくは0.01~0.02 μm の範囲に調整する。バッファ層2の膜厚が上記範囲であると、窒化物半導体の結晶モフォロジーが良好となり、バッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性が改善される。バッファ層2の成長温度は、200~900℃であり、好ましくは400~800℃の範囲に調整する。成長温度が上記範囲であると良好な多結晶となり、この多結晶が種結晶としてバッファ層2上に成長させる窒化物半導体の結晶性を良好にでき好ましい。また、このような低温で成長させるバッファ層2は、基板の種類、成長方法等によっては省略してもよい。

【0025】【n型コンタクト層3】上記のn型不純物

含有のAlGaInを含んでなる窒化物半導体である。

【0026】[n型クラッド層4]本発明において、n型クラッド層4としては、活性層5のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層5へのキャリアの閉じ込めが可能であれば特に限定されないが、好ましい組成としては、 $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x < 0.3$ 、好ましくは $0.1 < x < 0.2$)のものが挙げられる。n型クラッド層が、このようなAlGaInからなると、活性層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。n型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $0.01 \sim 0.1 \mu m$ であり、より好ましくは $0.03 \sim 0.06 \mu m$ である。n型クラッド層のn型不純物濃度は、特に限定されないが、好ましくは $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} / cm^3$ であり、より好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / cm^3$ である。不純物濃度がこの範囲であると、抵抗率及び結晶性の点で好ましい。

【0027】n型クラッド層は、上記のような単一層の他に、多層膜層（超格子構造を含む）とすることもできる。多層膜層の場合は、上記の $Al_xGa_{1-x}N$ と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であればよいが、例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、 $In_kGa_{1-k}N$ ($0 \leq k < 1$)、 $Al_jGa_{1-j}N$ ($0 \leq j < 1$ 、 $e > j$)が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、特に限定されないが、超格子構造の場合は、一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは10～40オングストロームと、超格子構造を形成しない単一層の場合は、上記の組成からなる層とすることができる。また、n型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方にn型不純物をドーピングさせてもよい。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なってもよい。

【0028】[活性層5]本発明において、活性層5としては、発光ピーク波長が370nm以下となるような組成の窒化物半導体が挙げられる。好ましくは $In_gGa_{1-g}N$ ($0 \leq g < 0.1$)の窒化物半導体が挙げられる。活性層のIn組成比は、発光ピーク波長が短波長となるに従いIn組成比を小さくしていくが、In組成比はほとんどゼロに近くなる。活性層の膜厚としては、特に限定されないが、量子効果の得られる程度の膜厚が挙げられ、例えば好ましくは $0.001 \sim 0.01 \mu m$ であり、より好ましくは $0.003 \sim 0.007 \mu m$ である。膜厚が上記範囲であると発光出力の点で好ましい。また、活性層は、上記のような単一量子井戸構造の他に、上記 $In_gGa_{1-g}N$ を井戸層として、この井戸層よりバンドギャップエネルギーが大きい組成からなる障壁

層とからなる多重量子井戸構造としてもよい。また、活性層には、不純物をドーピングしてもよい。

【0029】また、活性層のIn組成比の調整としては、発光ピーク波長が370nm以下となるIn組成比であれば特に限定されず、具体的な値としては、例えば下記の理論値の計算式から求められる値を近似的な値として挙げるることができる。しかし、実際に発光させて得られる波長は、量子井戸構造をとる量子準位が形成されるため、波長のエネルギー (E_λ) がInGaInのバンドギャップエネルギー (E_g) よりも大きくなり、計算式などから求められる発光波長より、短波長側へシフトする傾向がある。

【0030】[理論値の計算式]

$$E_g = (1-x) 3.40 + 1.95x - Bx(1-x)$$

$$\text{波長 (nm)} = 1240 / E_g$$

E_g : InGaIn井戸層のバンドギャップエネルギー

x : Inの組成比

3.40 (eV): GaNのバンドギャップエネルギー

1.95 (eV): InNのバンドギャップエネルギー

B: ボーイングパラメーターを示し、1～6 eVとする。

このようにボーイングパラメータが変動するのは、最近の研究では、SIMS分析などから、従来は結晶に歪みがないと仮定して1 eVとされていたが、In組成比の割合や膜厚が薄い場合等により歪みの生じる程度が異なり、1 eV以上となることが明らかとなってきたためである。

【0031】上記のように井戸層のSIMS分析などから求められる具体的なIn組成比から考えられる発振波長と、実際に発振させたときの発振波長とは、やや相違があるものの、実際の発振波長が所望する波長となるように調整される。

【0032】[p型クラッド層6]本発明において、p型クラッド層6としては、活性層5のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層5へのキャリアの閉じ込めができるものであれば特に限定されないが、好ましくは、 $Al_fGa_{1-f}N$ ($0 < f < 0.4$ 、好ましくは $0.15 < f < 0.3$)のものが挙げられる。p型クラッド層が、このようなAlGaInからなると、活性層へのキャリアの閉じ込めの点で好ましい。p型クラッド層の膜厚は、特に限定されないが、好ましくは $0.01 \sim 0.15 \mu m$ であり、より好ましくは $0.04 \sim 0.08 \mu m$ である。p型クラッド層のp型不純物濃度は、特に限定されないが、好ましくは $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{20} / cm^3$ であり、より好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{19} / cm^3$ である。p型不純物濃度が上記範囲であると、結晶性を低下させることなくバルク抵抗を低下させる点で好ましい。

【0033】p型クラッド層は、上記のような単一層の他に、多層膜層（超格子構造を含む）とすることもでき

る。多層膜層の場合は、上記の $Al_iGa_{1-i}N$ と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であればよいが、例えばバンドギャップエネルギーの小さい層としては、 n 型クラッド層の場合と同様に、 $In_kGa_{1-k}N$ ($0 \leq k < 1$)、 $Al_jGa_{1-j}N$ ($0 \leq j < 1$, $f > j$) が挙げられる。多層膜層を形成する各層の膜厚は、特に限定されないが、超格子構造の場合は、一層の膜厚が100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、より好ましくは10~40オングストロームと、超格子構造を形成しない単一層の場合は、上記の組成からなる層とすることができる。また、 p 型クラッド層がバンドギャップエネルギーの大きい層と、バンドギャップエネルギーの小さい層からなる多層膜層である場合、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方に p 型不純物をドーピングさせてもよい。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドーピングする場合は、ドーピング量は同一でも異なってもよい。

【0034】 $[p$ 型コンタクト層7] 上記の p 型不純物含有の $AlGa$ Nを含んでなる窒化物半導体である。

【0035】また、本発明において、 p 電極及び n 電極は、種々のものを用いることができ、公知の電極材料等から適宜選択して用いる。電極としての具体例は、後述の実施例に記載されているものが挙げられる。また、本発明は、素子構造の一実施の形態として図1を挙げて説明したが、発光ピーク波長が370nm以下で、上記のような本発明の特定の n 型コンタクト層及び p 型コンタクト層であれば本発明の効果をj得ることができ、図1以外に、静電耐圧、順方向電圧、寿命特性等の素子特性の向上のために、その他の層を形成してもよい。

【0036】また、本発明の素子は、 p 側層を p 型化して低抵抗とするために、アニーリング処理を行っている。アニーリング処理としては、特許第2540791号に記載されているように、気相成長法により、 p 型不純物がドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体を成長させた後、実質的に水素を含まない雰囲気中、400℃以上の温度で熱処理を行い、 p 型不純物がドーピングされた窒化ガリウム系化合物半導体から水素を出すことにより p 型にする方法が挙げられる。

【0037】

【実施例】以下に、本発明の一実施の形態である実施例を挙げて本発明を更に詳細に説明する。しかし、本発明はこれに限定されない。

【0038】【実施例1】実施例1は、図1の窒化物半導体素子を作製する。

(基板1) サファイア(C面)よりなる基板1を、反応容器内において水素雰囲気中、1050℃で表面のクリーニングを行う。

【0039】(バッファ層2) 続いて、水素雰囲気中、

510℃で、アンモニアとTMG(トリメチルガリウム)を用い、基板1上にGa_{0.9}Nよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0040】(n 型コンタクト層3) 次に1050℃でTMG、TMA(トリメチルアルミニウム)、アンモニア、シラン(SiH₄)を用い、Siを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングした n 型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}N$ よりなる n 型コンタクト層3を4 μm の膜厚で成長させる。

【0041】(n 型クラッド層4) 次に1050℃でTMG、TMA、アンモニア、シランを用い、Siを $5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドーピングした n 型 $Al_{0.9}Ga_{0.1}N$ よりなる n 型クラッド層4を400オングストロームの膜厚で形成する。

【0042】(活性層5) 次に窒素雰囲気中、700℃でTMI、TMG、アンモニアを用い、アンドーピングInGa_{0.9}Nよりなる活性層を55オングストロームの膜厚で成長させる。In組成比は、測定不可能な程度に微量(ほとんどゼロ)である。

【0043】(p 型クラッド層6) 次に水素雰囲気中、1050℃でTMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングした $Al_{0.9}Ga_{0.1}N$ よりなる p 型クラッド層6を600オングストロームの膜厚で成長させる。

【0044】(p 型コンタクト層7) 続いて、 p 型クラッド層6上に、TMG、TMA、アンモニア、Cp₂Mgを用いて、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングした $Al_{0.9}Ga_{0.1}N$ よりなる第2の p 型コンタクト層7bを0.1 μm の膜厚で成長させ、その後、ガスの流量を調整してMgを $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングした $Al_{0.9}Ga_{0.1}N$ よりなる第2の p 型コンタクト層7bを0.02 μm の膜厚で成長させる。

【0045】成長終了後、窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、 p 型層をさらに低抵抗化した後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層の p 型コンタクト層7の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッチング)装置で p 型コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すように n 型コンタクト層3の表面を露出させる。

【0046】エッチング後、最上層にある p 型コンタクト層7の第1の p 型コンタクト層7aのほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性の p 電極8と、その p 電極8の上にボンディング用のAuよりなる p パッド電極10を0.2 μm の膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させた n 型コンタクト層3の表面にはWとAlを含む n 電極9を形成する。最後に p 電極8の表面を保護するためにSiO₂よりなる絶縁膜を形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350 μm 角のLED素子とする。

【0047】このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、発光ピーク波長が370nmを示し、Vfは3.8V、出力は2.0mWである。実施例1のLEDの光取り出し効率は、従来のn型及びp型コンタクト層がAlを含んでいないものに対してほぼ2.5倍となる。以上のように、上記素子構造により、オーミック接触が良好となるので従来と同等のVfを維持でき、さらに自己吸収を防止できることで発光出力を向上させることができる。

【0048】

【発明の効果】本発明は、上記のように、n型コンタクト層及びp型コンタクト層をAl組成比や不純物濃度、さらにp型コンタクト層を2層から構成することにより、オーミック接触を悪化させることなく良好に自己吸収を防止して光取り出し効率を向上させ、370nm以下の発光出力の良好な窒化物半導体素子を提供することができる。更に本発明は、n型及びp型コンタクト層のMg濃度や、特定のクラッド層との組み合わせにより、良好なオーミック接触と自己吸収の防止に加えて、クラ

ックなどの防止が良好となり、より良好な発光出力を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の一実施の形態であるLEDの模式的断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n型コンタクト層
- 4・・・n型クラッド層
- 5・・・活性層
- 6・・・p型クラッド層
- 7・・・p型コンタクト層
- 7b・・・第2のp型コンタクト層
- 7a・・・第1のp型コンタクト層
- 8・・・p電極
- 9・・・n電極
- 10・・・パッド電極

【図1】

